

AÇÕES SINÉRGICAS NA DEGRADAÇÃO QUÍMICA DE GEOTÊXTEIS DE POLIPROPILENO – ALGUNS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

SYNERGISMS IN THE CHEMICAL DEGRADATION OF POLYPROPYLENE GEOTEXTILES – SOME EXPERIMENTAL RESULTS

Carneiro, José Ricardo; FEUP, Porto, Portugal, rcarneir@fe.up.pt
Almeida, Paulo Joaquim; FCUP, Porto, Portugal, pjalmleid@fc.up.pt
Lopes, Maria de Lurdes; FEUP, Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt

RESUMO

A durabilidade (resistência à degradação) é atualmente um tema muito importante na investigação dos geossintéticos. Os estudos existentes sobre este tema consideram, na sua maioria, a ação isolada dos agentes de degradação, não contemplando as interações que podem ocorrer entre eles. Neste trabalho, foram estudadas algumas interações (sinergias) que podem existir entre alguns agentes e/ou tipos de degradação dos geossintéticos. Para tal, um geotêxtil não-tecido agulhado de polipropileno estabilizado com 0,2% (m/m) do aditivo Chimassorb 944 foi exposto a vários ensaios de durabilidade. Numa primeira fase, o material foi exposto de forma isolada à ação de líquidos, à termo-oxidação (método do forno) e ao envelhecimento climatérico (simulação artificial). Dessa forma, foi avaliado o efeito isolado de cada um destes agentes. Numa segunda fase, o geotêxtil foi exposto sucessivamente a algumas combinações de dois dos agentes anteriores, procurando-se avaliar a existência de efeitos sinérgicos entre eles.

ABSTRACT

Durability (resistance to degradation) is currently a very important topic of research in geosynthetics. The existing studies about this topic consider mostly the isolated action of the degradation agents and do not contemplate the interactions that can occur between them. In this work, some interactions (synergies) that may exist between some agents/types of degradation of geosynthetics were investigated. To this end, a non-woven needle-punched polypropylene geotextile stabilised with 0.2% (w/w) of the additive Chimassorb 944 was exposed to several durability tests. Initially, the material was exposed to the isolated action of liquids, thermo-oxidation (oven-ageing method) and artificial weathering. This allowed to evaluate the isolated effect of each of these agents. In a second stage, the geotextile was successively exposed to some combinations of two of the previous agents, seeking to evaluate the existence of synergetic effects between them.

1 - INTRODUÇÃO

Nas suas aplicações, os geossintéticos podem estar expostos a vários agentes de degradação capazes de afetar negativamente o seu desempenho. Os agentes/tipos de degradação mais comuns incluem: a ação de espécies químicas presentes nos solos (substâncias ácidas ou alcalinas, contaminantes químicos), o oxigénio, as temperaturas elevadas, os agentes climatéricos, os agentes biológicos, a ação de cargas estáticas (fluência) e a abrasão. O processo de instalação em obra também pode provocar danos nos materiais. O contacto prolongado com estes agentes pode ter um impacto negativo nas propriedades dos geossintéticos, afetando o seu desempenho e reduzindo o seu tempo de vida útil (Carneiro, 2009).

Em muitas aplicações (por exemplo, em aterros de resíduos), os geossintéticos têm de desempenhar eficazmente as suas funções durante um longo período de tempo (frequentemente dezenas de anos). Na impossibilidade de determinar as propriedades a longo prazo dos materiais antes da construção da obra, é necessário prever a sua degradação ao longo do tempo. Essas previsões são normalmente feitas com base em ensaios laboratoriais, onde os geossintéticos são expostos (habitualmente sob condições de degradação aceleradas) à ação de vários agentes de degradação.

Os estudos existentes sobre a durabilidade dos geossintéticos consideram, na sua grande maioria, a ação isolada dos diferentes agentes de degradação. De igual modo, nos métodos de dimensionamento atuais e nas normas existentes para avaliar a durabilidade destes materiais, o efeito dos agentes de degradação é também considerado em separado. No entanto, em situações reais, os geossintéticos muito dificilmente estarão apenas sob a ação de um único agente de degradação. Assim, a degradação que ocorre nos materiais será sempre o efeito combinado dos vários agentes de degradação, podendo ocorrer efeitos sinérgicos entre eles.

Neste trabalho, foram estudadas algumas interações que podem ocorrer entre agentes de degradação dos geossintéticos: ação de espécies químicas (água, substâncias ácidas e alcalinas e catiões metálicos),

termo-oxidação e ação de agentes climáticos. As interações entre, e com, os agentes anteriores são um tema que carece de investigação. Pretende-se, desta forma, contribuir para uma melhor estimativa do comportamento a longo prazo dos geossintéticos (contabilizando, para tal, as interações existentes entre os vários agentes de degradação).

2 - DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

2.1 - Geotêxteis

Neste trabalho, foi estudado um geotêxtil não-tecido agulhado de polipropileno (PP) com 0,2% (m/m) do aditivo químico Chimassorb 944 (C944) na sua composição. O C944 é um estabilizante UV pertencente à família das HALS (do inglês, hindered amine light stabilisers). As principais características do geotêxtil estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais Características do Geotêxtil (Amostras Intactas)	
Composição química	99,8% PP, 0,2% C944 (m/m)
Massa por unidade de área ¹ (g.m ⁻²)	502 (35)
Espessura ² (mm)	3,81 (0,11)
Resistência à tração ³ (kN.m ⁻¹)	26,6 (2,9)
Extensão na força máxima ³ (%)	71,6 (6,9)
¹ Determinado de acordo com a NP EN ISO 9864	
² Determinado de acordo com a NP EN ISO 9863-1	
³ Determinado de acordo com a NP EN 29073-3 (direção de fabrico) (entre parêntesis encontram-se os desvios padrão obtidos)	

O processo de amostragem e preparação de provetes foi realizado de acordo com a norma NP EN ISO 9862. Os provetes foram cortados distribuídos regularmente por toda a largura da amostra (fornecida em rolo), excluindo os bordos laterais (pelo menos, 100 mm de cada lado do rolo foram desprezados). Os provetes para um mesmo ensaio foram recolhidos em diferentes locais do rolo (cortados em diagonais, abrangendo diferentes zonas na largura e comprimento do rolo). Não foram recolhidos provetes em zonas sujas, com vincos, com orifícios ou com outros defeitos de origem accidental ocorridos depois do fabrico do material.

2.2 - Ensaio de degradação

Na primeira fase do trabalho, o geotêxtil foi exposto de forma isolada (exposição única) a alguns agentes de degradação: imersão em líquidos, termo-oxidação e exposição a agentes climáticos (descrição dos ensaios nos subpontos seguintes). Numa segunda fase, o material foi exposto sucessivamente a algumas combinações de dois dos agentes anteriores (Quadro 2).

Quadro 2 – Ensaio de Degradação Realizados	
Exposição única	Exposição sucessiva a dois agentes
Imersão em H ₂ O	Imersão em H ₂ O + TO
Imersão em H ₂ SO ₄	Imersão em H ₂ SO ₄ + TO
Imersão em HNO ₃	Imersão em HNO ₃ + TO
Imersão em NaOH	Imersão em NaOH + TO
Imersão em Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Imersão em Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O + TO
Termo-oxidação	Imersão em HNO ₃ + QUV
Envelhecimento climático (QUV)	Imersão em Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O + QUV
(TO – Termo-oxidação; QUV – Simulador climático QUV Weathering Tester)	

2.2.1 - Ensaio de imersão em líquidos

O geotêxtil foi imerso, à temperatura de 90 °C, em água desionizada, em ácido sulfúrico (H₂SO₄) e em hidróxido de sódio (NaOH). Estes ensaios foram efetuados num banho termostático (marca GFL, modelo 1003). Foram também realizadas imersões à temperatura ambiente (≈ 20 °C) em ácido nítrico (HNO₃) e em nitrato de zinco (II) (Zn(NO₃)₂.6H₂O). O Quadro 3 descreve as condições em que foram realizados os vários ensaios de imersão.

Quadro 3 – Condições dos Ensaio de Imersão

Ensaio de imersão	Agente de degradação	Condições do ensaio
Água	H ₂ O (pH ≈ 7)	90 °C, 14 dias
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄ (0,1 mol.L ⁻¹) (pH ≈ 1)	90 °C, 14 dias
Hidróxido de sódio	NaOH (0,1 mol.L ⁻¹) (pH ≈ 13)	90 °C, 14 dias
Ácido nítrico	HNO ₃ (0,01 mol.L ⁻¹) (pH ≈ 2)	≈ 20 °C, 100 dias
Nitrato de zinco (II)*	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (5 g.L ⁻¹) (pH ≈ 2)**	≈ 20 °C, 100 dias

* o estado de oxidação do zinco será omitido no texto.

** pH ajustado para pH 2 pela adição de ácido nítrico.

As condições experimentais usadas na imersão em ácido nítrico (pH ≈ 2) devem-se ao facto deste ácido ter sido utilizado para acidular a solução de nitrato de zinco (o pH dessa solução foi ajustado para pH 2 pela adição de ácido nítrico). Na ausência de acidulação, poderia ocorrer formação de hidróxido de zinco. Por isso, foi necessário avaliar, por si só, qual o efeito (se algum) da imersão em ácido nítrico.

As amostras imersas em líquidos que foram posteriormente expostas ao envelhecimento climatérico ou à termo-oxidação (exposição sucessiva) não foram lavadas (de modo a ficarem contaminadas com restos das soluções de imersão).

2.2.2 - Ensaio de termo-oxidação

Os ensaios de termo-oxidação foram realizados segundo a norma NP EN ISO 13438 (método A2). De acordo com esta norma, a resistência à termo-oxidação de geotêxteis de polipropileno deve ser avaliada pela exposição dos materiais a 110 °C durante 14 dias (método A1 – para todas as aplicações, exceto a de reforço) ou 28 dias (método A2 – para as aplicações de reforço). Estes ensaios foram efetuados num forno (marca Heraeus Instruments, modelo T6120) com uma atmosfera normal de oxigénio (21% de O₂).

2.2.3 - Ensaio de envelhecimento climatérico

A exposição a agentes climatéricos (radiação ultravioleta (UV), chuva e condensação) foi realizada num simulador laboratorial – o QUV (marca Q-Panel Lab Products, modelo QUV/spray) (Figura 1). A radiação UV presente na luz solar foi simulada através de lâmpadas fluorescentes do tipo UVA-340. Por sua vez, a chuva foi simulada através da projeção de jatos de água contra a superfície dos geotêxteis. A água usada para simular a chuva (caudal de 5 L/min, água à temperatura ambiente) foi tratada microbiologicamente, purificada por osmose inversa e desionizada em resinas de permuta iónica de leito misto. O passo de chuva origina uma diminuição brusca da temperatura dos materiais (choque térmico) e pode promover a erosão da sua superfície (através da remoção de fibras degradadas).

Durante o passo de condensação, a água (proveniente da rede de abastecimento pública) existente num reservatório localizado no fundo do QUV é aquecida, ocorrendo a formação de vapor de água, que vai condensar (água destilada) à superfície dos materiais expostos.



Figura 1 – Simulador Climatérico QUV

As exposições no QUV tiveram a duração total de 250 horas. A composição do ciclo climatérico pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 – Composição do Ciclo Climatérico Usado no QUV

Passo 1: Exposição à radiação UV (6 horas, 60 °C)
Passo 2: Chuva (10 minutos, 5 L.min ⁻¹ , choque térmico)
Passo 3: Condensação (2 horas, 45 °C)
(retorno ao passo 1)

Nas 250 horas totais do ensaio, os geotêxteis foram expostos a cerca de 31 ciclos climatéricos (cada ciclo possui a duração de 8 horas e 10 minutos). A irradiância durante o passo de exposição UV (184 horas no total) foi de 0,68 W.m⁻² aos 340 nm. A radiação UV incidente total (entre os 290 e os 400 nm) foi de 25,9 MJ.m⁻².

2.3 - Avaliação dos danos sofridos pelo geotêxtil

Os danos sofridos pelo geotêxtil (nos vários ensaios de degradação) foram avaliados através de ensaios de tração-extensão de acordo com a norma NP EN 29073-3. A avaliação desses danos seguiu, também, as indicações da norma NP EN 12226 (define princípios gerais para a avaliação de danos após ensaios de durabilidade). As condições experimentais dos ensaios de tração-extensão estão resumidas no Quadro 5.

Quadro 5 – Condições Experimentais dos Ensaios de Tração-extensão (NP EN 29073-3)

Largura _{Geotêxtil}	Comprimento _{Geotêxtil} (entre garras)	N _{Provetes}	Velocidade
50 mm	200 mm	5*	100 mm.min ⁻¹

* número mínimo.

Os parâmetros mecânicos determinados nos ensaios de tração-extensão (valores na direção de fabrico) incluíram a resistência à tração (RT) e a extensão na força máxima (E_{FM}). A resistência à tração residual (RTR, em %) foi obtida pelo quociente entre a resistência à tração das amostras expostas (aos ensaios de degradação) e a resistência à tração das amostras de referência (não danificadas).

3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

3.1 - Exposição única

De um modo geral, os ensaios de imersão em líquidos e de termo-oxidação não provocaram grandes alterações na resistência à tração do geotêxtil (RTR muito próxima de 100%) (Quadro 6). Por sua vez, a exposição no QUV causou uma diminuição significativa deste parâmetro (RTR de 66,9%). A extensão na força máxima sofreu uma redução após a exposição à termo-oxidação e ao envelhecimento climatérico (diminuição de 71,6% para 53,6% e para 42,4%, respetivamente).

Quadro 6 – Propriedades Mecânicas do Geotêxtil Após os Ensaios de Degradação (Exposição Única)

Ensaio	RT (kN.m ⁻¹)	E _{FM} (%)	RTR (%)
Imersão em H ₂ O	27,1 (1,0)	68,1 (2,8)	102
Imersão em H ₂ SO ₄	26,7 (2,0)	63,9 (5,4)	100
Imersão em NaOH	26,1 (2,5)	64,5 (6,3)	98,1
Imersão em HNO ₃	26,8 (2,5)	71,7 (7,1)	101
Imersão em Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	26,3 (2,5)	73,4 (4,8)	98,9
Termo-oxidação	25,9 (2,4)	53,6 (2,1)	97,4
Envelhecimento climatérico	17,8 (2,0)	42,4 (3,1)	66,9

(entre parêntesis encontram-se os desvios padrão obtidos)

A presença de C944 resultou num grande aumento da resistência do geotêxtil à termo-oxidação e ao envelhecimento climatérico. De facto, na ausência do aditivo, o material estaria totalmente destruído após estes ensaios (RTR de 0%) (Carneiro, 2009).

3.2 - Exposição sucessiva a dois agentes de degradação

3.2.1 - Imersão a 90 °C e termo-oxidação

Os provetes imersos em ácido sulfúrico (originalmente brancos) adquiriram uma cor castanha durante a exposição à termo-oxidação (Figura 2). Para além desta alteração de cor, os provetes não apresentaram outros sinais da existência de algum tipo de danos (como por exemplo, a existência de fibras degradadas ou a libertação de compostos voláteis com odor a “plástico queimado”). A cor dos provetes imersos em água e hidróxido de sódio não sofreu grandes alterações depois dos ensaios de termo-oxidação (apenas um ligeiro escurecimento).

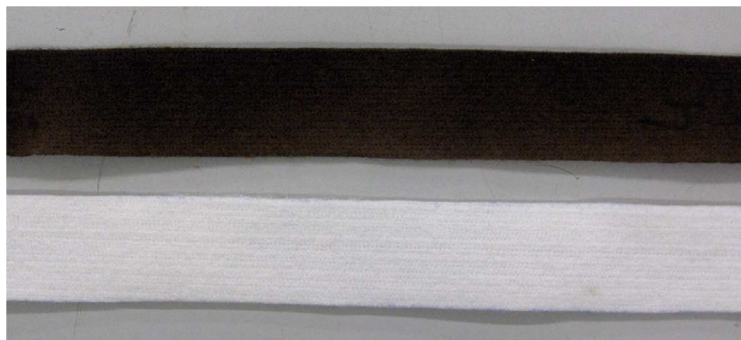


Figura 2 – Provetes Imersos em Ácido Sulfúrico Antes (em baixo) e Após (em cima) Exposição à Termo-oxidação

Os valores obtidos para a resistência à tração, extensão na força máxima e resistência à tração residual após os ensaios sucessivos de imersão em líquidos (à temperatura de 90 °C) e de termo-oxidação podem ser encontrados no Quadro 7. A Figura 3 ilustra algumas curvas médias “força-extensão” obtidas antes e depois dos ensaios de termo-oxidação (exposição única e exposição sucessiva).

Quadro 7 – Propriedades Mecânicas do Geotêxtil: Imersão em Líquidos (90 °C) + Termo-oxidação

Ensaio	RT (kN.m ⁻¹)	E _{FM} (%)	RTR (%)
Imersão em H ₂ O + Termo-oxidação	25,9 (2,5)	54,0 (4,7)	97,4
Imersão em H ₂ SO ₄ + Termo-oxidação	21,3 (1,9)	49,8 (2,5)	80,1
Imersão em NaOH + Termo-oxidação	16,1 (3,0)	35,7 (5,2)	60,5

(entre parêntesis encontram-se os desvios padrão obtidos)

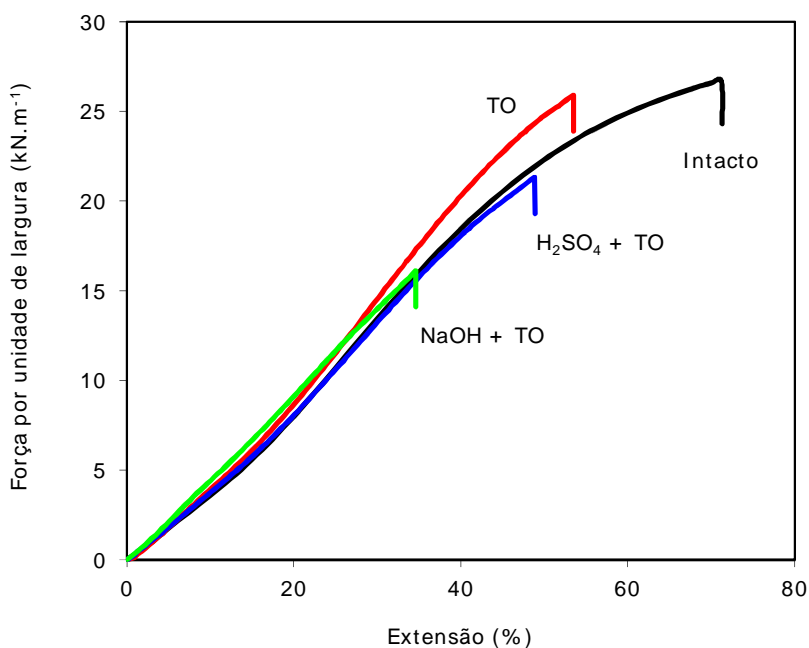


Figura 3 – Curvas Médias Força-extensão, Antes e Após os Ensaios de Termo-oxidação

Os resultados obtidos nos ensaios de termo-oxidação dos provetes imersos em água foram praticamente iguais aos resultados obtidos para os provetes sem imersão prévia (RTR de 97,4% em ambos os casos). Assim, a imersão prévia em água (durante 14 dias a 90 °C) não originou uma diminuição da resistência do geotêxtil à termo-oxidação.

Ao contrário da imersão em água, a imersão em ácido sulfúrico provocou uma diminuição da resistência do geotêxtil à termo-oxidação. De facto, os provetes imersos neste ácido apresentavam uma RTR de 80,1% após os 28 dias de termo-oxidação. Desta forma, dois agentes que individualmente não causaram danos significativos, provocaram em conjunto alguma degradação no material.

Tal como a imersão em ácido sulfúrico, a imersão em hidróxido de sódio também causou uma redução da resistência do geotêxtil à termo-oxidação (RTR de 60,5% após o ensaio de termo-oxidação); a extensão na força máxima também foi menor nos provetes previamente imersos em hidróxido de sódio. Desta forma, em condições de imersão idênticas (concentração molar, temperatura e tempo), a imersão em hidróxido de sódio originou uma maior diminuição da resistência à termo-oxidação do que a imersão em ácido sulfúrico.

A diminuição da resistência à termo-oxidação depois das imersões em ácido sulfúrico e em hidróxido de sódio poderá ter duas explicações possíveis: (1) a imersão nessas soluções promoveu a extração e/ou o consumo do aditivo C944 existente no material, desprotegendo-o contra a oxidação e/ou (2) os restos de ácido/base existentes no material atuaram como catalisadores do processo de oxidação.

3.2.2 - Imersão à temperatura ambiente e termo-oxidação

Os provetes imersos em ácido nítrico não sofreram alterações de cor, nem da resistência à tração, depois do ensaio de termo-oxidação (Quadro 8). De facto, no fim dos 28 dias de termo-oxidação, os provetes imersos em ácido nítrico possuíam uma RTR de 97,0% (os provetes sem imersão apresentavam uma RTR de 97,4% após o mesmo período de exposição).

Quadro 8 – Propriedades Mecânicas do Geotêxtil: Imersão em Líquidos ($\approx 20^\circ\text{C}$) + Termo-oxidação

Ensaio	RT (kN.m^{-1})	E_{FM} (%)	RTR (%)
Imersão em HNO_3 + Termo-oxidação	25,8 (2,2)	55,1 (3,3)	97,0
Imersão em $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + Termo-oxidação	19,1 (2,7)	42,8 (3,7)	71,8

(entre parêntesis encontram-se os desvios padrão obtidos)

A imersão em nitrato de zinco provocou uma diminuição de resistência do geotêxtil à termo-oxidação (no fim dos 28 dias a 110 °C, os provetes possuíam uma RTR de 71,8%). Deste modo, e mais uma vez, dois agentes que, por si só, não causaram danos no material, originaram em conjunto alguma degradação.

A diminuição da resistência à termo-oxidação após a imersão em nitrato de zinco poderá ser explicada pela ação catalisadora do catião zinco no processo oxidativo. Outra explicação possível seria a ocorrência de perdas de C944 (por difusão ou por lixiviação) durante o ensaio de imersão (ficando o geotêxtil menos protegido para o subsequente ensaio de termo-oxidação). No entanto, essa hipótese é improvável, pois não existem indícios que a imersão em ácido nítrico tenha causado uma perda de C944 (a imersão em ácido nítrico não originou uma redução da resistência à oxidação) e não existem motivos para presumir que a presença adicional do catião zinco possa originar a perda do aditivo.

3.2.3 - Imersão em líquidos e envelhecimento climatérico

A imersão em ácido nítrico não causou uma diminuição da resistência ao envelhecimento climatérico. De facto, depois da exposição no QUV, os provetes imersos em ácido nítrico apresentavam uma RTR muito semelhante à dos provetes não imersos (67,3% e 66,9%, respetivamente) (Quadro 9). Por sua vez, os provetes imersos em nitrato de zinco possuíam alguns sinais visíveis de degradação (libertação de fibras degradadas) após exposição no QUV (o que, desde logo, mostrou a existência dum efeito do catião zinco na resistência do geotêxtil ao envelhecimento climatérico). A Figura 4 ilustra algumas curvas médias “força-extensão” obtidas antes e depois dos ensaios de exposição no QUV (exposição única e exposição sucessiva).

Quadro 9 – Propriedades Mecânicas do Geotêxtil: Imersão em Líquidos + Envelhecimento Climatérico

Ensaio	RT (kN.m^{-1})	E_{FM} (%)	RTR (%)
Imersão em HNO_3 + QUV	17,9 (0,9)	41,9 (2,5)	67,3
Imersão em $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + QUV	6,4 (1,5)	22,4 (1,0)	24,1

(entre parêntesis encontram-se os desvios padrão obtidos)

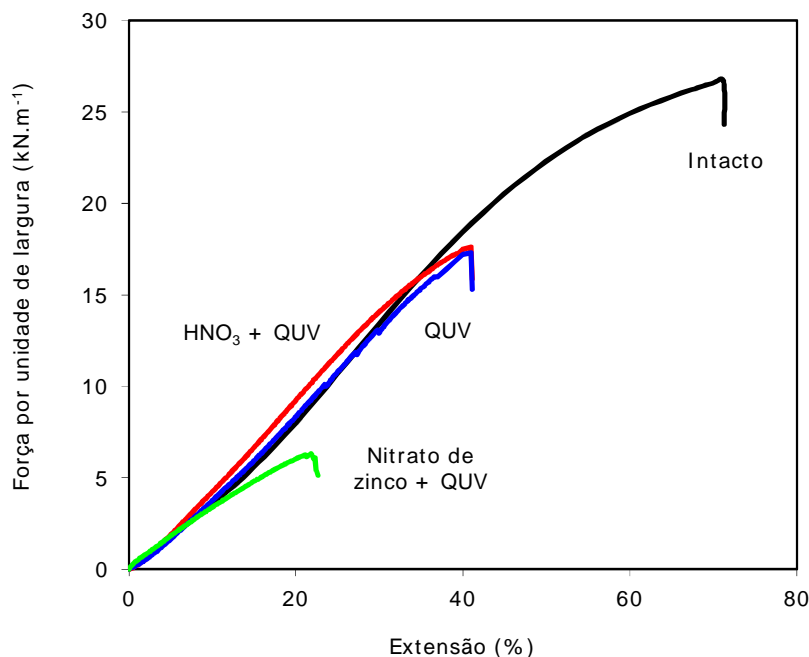


Figura 4 – Curvas Médias Força-extensão, Antes e Após os Ensaios de Envelhecimento Climático

Após exposição no QUV, a resistência à tração dos provetes imersos em nitrato de zinco (RTR de 24,1%) foi menor do que a resistência à tração dos provetes sem imersão (RTR de 66,9%). A extensão na força máxima também foi menor para os provetes imersos em nitrato de zinco (E_{FM} de 22,4%) do que para os provetes sem imersão (E_{FM} de 42,4%). Assim, o processo de envelhecimento climático foi acelerado pela presença de restos de nitrato de zinco.

Tal como no processo de termo-oxidação, a diminuição da resistência aos agentes climáticos depois da imersão em nitrato de zinco também poderá ser explicada pela ação catalisadora do catião zinco (neste caso, no processo de fotodegradação). A existência de perdas de C944 durante a imersão em nitrato de zinco também poderia explicar esta redução de resistência. Contudo, esta hipótese é improvável, pois a imersão em ácido nítrico (a principal diferença entre as soluções é a presença, ou não, do catião zinco) não originou uma diminuição da resistência ao envelhecimento climático. Isto mostrou que os restos de ácido nítrico não catalisaram o processo de fotodegradação e que não ocorreram perdas elevadas de C944 (não existem motivos para assumir que a presença adicional do catião zinco possa provocar perdas do aditivo).

4 - CONCLUSÕES

As exposições individuais à ação de líquidos (água e soluções de ácido sulfúrico, ácido nítrico, hidróxido de sódio e nitrato de zinco) e à termo-oxidação não provocaram grandes alterações nas propriedades mecânicas (resistência à tração e extensão na força máxima) do geotêxtil não-tecido. Pelo contrário, a exposição aos agentes climáticos causou uma redução significativa da resistência à tração do material (RTR de 66,9%).

Os danos sofridos pelo geotêxtil na exposição sucessiva a dois agentes de degradação não foram sempre iguais à soma dos danos provocados por cada um dos agentes isoladamente. Exemplos disso incluem: (1) imersão em ácido sulfúrico e termo-oxidação, (2) imersão em hidróxido de sódio e termo-oxidação, (3) imersão em nitrato de zinco e termo-oxidação e (4) imersão em nitrato de zinco e envelhecimento climático.

A resistência à termo-oxidação sofreu uma diminuição depois da imersão em ácido sulfúrico (RTR de 80,1%) e em hidróxido de sódio (RTR de 60,5%). Os restos de ácido e de base poderão ter agido como catalisadores do processo de oxidação. Para além disso, é também possível que algum C944 tenha sido extraído/consumido durante os 14 dias de imersão a temperatura elevada (90 °C), tendo desta forma desprotegido o geotêxtil contra a termo-oxidação.

A imersão em nitrato de zinco provocou um aumento da velocidade do processo de termo-oxidação (RTR de 71,8%) e de fotodegradação (RTR de 24,1%). Estes resultados poderão ser explicados pela ação catalisadora do catião zinco nos processos de degradação, uma vez que a imersão em ácido nítrico (com

exceção da presença do catião metálico, solução idêntica à de nitrato de zinco) não originou uma redução da resistência à termo-oxidação (RTR de 97,0%), nem ao envelhecimento climatérico (RTR de 67,3%).

Os resultados obtidos mostraram que a ação conjunta dos agentes de degradação (o que ocorre em situações reais) pode ser diferente, mais gravosa, do que o somatório dos efeitos individuais de cada um desses agentes. De facto, dois agentes que individualmente não causam degradação, podem em conjunto dar origem a danos nos materiais. Por este motivo, é importante avaliar a existência de efeitos sinérgicos entre os vários agentes de degradação dos geossintéticos.

AGRADECIMENTOS

Carvalhos Lda. (Lousã, Portugal) e “Fundação para a Ciência e a Tecnologia” (FCT). José Ricardo Carneiro agradece à FCT a bolsa de Pós-Doutoramento com a referência SFRH/BPD/88730/2012.

REFERÊNCIAS

- Carneiro, J.R.C. (2009). Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental – a importância da incorporação de aditivos químicos, Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, LXVIII-534p.
- NP EN 12226 (2005). Geotêxteis e produtos relacionados. Ensaio gerais para avaliação após os ensaios de durabilidade (versão Portuguesa da norma EN 12226:2000).
- NP EN 29073-3 (1993). Têxteis. Métodos de ensaio para tecidos não-tecidos. Parte 3: Determinação da resistência à tracção e do alongamento (versão Portuguesa da norma EN 29073-3:1992).
- NP EN ISO 9862 (2007). Geossintéticos. Amostragem e preparação de provetes (versão Portuguesa da norma EN ISO 9862:2005).
- NP EN ISO 9863-1 (2006). Geossintéticos. Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camadas simples (versão Portuguesa da norma EN ISO 9863-1:2004).
- NP EN ISO 9864 (2006). Geossintéticos. Ensaio para a determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos relacionados (versão Portuguesa da norma EN ISO 9864:2005).
- NP EN ISO 13438 (2006). Geotêxteis e produtos relacionados. Determinação da resistência à oxidação (versão Portuguesa da norma EN ISO 13438:2004).

